

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑪ DE 3437379 A1

⑤1 Int. Cl. 3:  
G01 L 3/04  
G 01 N 3/22  
G 01 N 3/20

②1 Aktenzeichen: P 34 37 378.9  
②2 Anmeldetag: 11. 10. 84  
②3 Offenlegungstag: 25. 4. 85

DE 3437379 A1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1  
12.10.83 US 541 289

⑦1 Anmelder:  
Bently Nevada Corp., Minden, Nev., US

⑦4 Vertreter:  
von Föner, A., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Ebbinghaus,  
D., Dipl.-Ing.; Finck, K., Dipl.-Ing. Dr.-Ing., Pat.-Anw.,  
8000 München

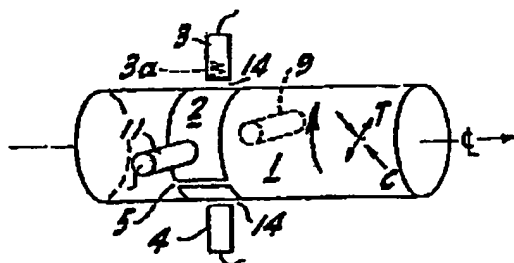
⑦2 Erfinder:  
Little, John Kelburn; Foster, Richard Glen, Minden,  
Nev., US

Behördeneigentlich

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Vorrichtung zum Messen der auf eine Welle ausgeübten Dreh- oder Biegekräft

Bei der Erfindung werden Luftspalt-Wirbelstromsonden (3, 4, 9 und 11) verwendet, um die Torsion und die Biegebeanspruchung, die Dehnung oder die Kompression bzw. Stauchung, die durch einen Fluchtungsfehler usw. einer Welle (1) hervorgerufen werden, durch Ermittlung der Permeabilitätsänderung einer hochmagnetostriktiven Oberfläche (2) auf der Welle (1) messen zu können. Diese Oberfläche (2) kann z. B. aus einer Hülse aus einem amorphen Metall bestehen. Die Permeabilitätsänderung ist proportional der Torsion oder Beanspruchung der Welle. Zwischen der zu untersuchenden Oberfläche (2) und dem Sensor bzw. der Sonde (3, 4, 9 und 11) besteht keine körperliche Verbindung.



DE 3437379 A1

V. F O N E R

E B B I N G H A U S

F I N C K

PATENTANWÄLTE

EUROPEAN PATENT ATTORNEYS

MARIAHILFPLATZ 2 & 3, MÜNCHEN 90

POSTADRESSE: POSTFACH 95 01 60, D-8000 MÜNCHEN 95

3437379

BENTLY NEVADA CORPORATION.

11. Oktober 1984  
DEAB-32227.9

VORRICHTUNG ZUM MESSEN DER AUF EINE WELLE  
AUSGEÜBTEN DREH- ODER BIEGEKRAFT

P a t e n t a n s p r ü c h e :

1. Vorrichtung zum Messen der Torsion oder Biegekraft,  
die auf eine sich drehende oder stationäre Welle aus-  
geübt wird, g e k e n n z e i c h n e t durch
  - 5 - eine auf der Welle (1) vorgesehene hochmagneto-  
striktive Oberfläche (2, 8), deren Permeabilität  
sich als eine Funktion der Beanspruchung infolge  
der auf die Welle (1) ausgeübten Torsion oder der  
Biegung, Dehnung oder Stauchung der Welle (1)  
ändert,
  - 10 - eine Einrichtung (3, 4, 6, 7, 9, 10, 11, 12; 18)  
zur Ermittlung der Permeabilitätsänderung der ma-  
gnetostriktiven Oberfläche (2, 8) über eine Spulen-  
impedanzänderung, wobei die Einrichtung eine Wirbel-

15 stromsondeneinrichtung, deren Spule (3a) in vorbe-  
stimmtem Abstand in der Nähe der Oberfläche (2, 8)  
angeordnet ist, sowie einen Oszillator (18) mit  
einer Betriebsfrequenz von etwa 100 kHz oder höher  
zur Ansteuerung der Spule (3a) und zur Induzierung  
der Wirbelströme in der Oberfläche (2, 8) aufweist,  
20 und

- einen elektrischen Schaltkreis zum Messen der Im-  
pedanzänderung der Spule (3a) sowie zum Erzeugen  
eines ablesbaren Ausgangssignals, das eine Funktion  
der ausgeübten Torsion oder der ausgeübten Biege-  
25 kraft ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch g e k e n n -  
z e i c h n e t , daß zur Ermittlung der Änderung der  
Spulenimpedanz ein Demodulator (18) vorgesehen ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch g e k e n n -  
z e i c h n e t , daß die Sondeneinrichtung eine Spule  
(17) aufweist, die die Welle (1) umschließt.
4. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch g e k e n n -  
z e i c h n e t , daß die hochmagnetostriktive Ober-  
fläche (2, 8) aus einer an der Welle (1) befestigten  
Hülse aus einem amorphen Metall besteht.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch g e k e n n -  
z e i c h n e t , daß die Hülse durch Kleben, Plattie-  
ren oder Schweißen befestigt ist.
6. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch g e k e n n -  
z e i c h n e t , daß die hochmagnetostriktive Ober-  
fläche (2, 8) aus einer auf der Welle (1) aufgetragenen  
Beschichtung besteht.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch g e k e n n -  
z e i c h n e t , daß die Beschichtung durch Lackieren,  
Flammspritzen, Plasmaspritzen, Laserschmelzen oder  
Vakuumaufdampfen aufgebracht ist.
8. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch g e k e n n -  
z e i c h n e t , daß die hochmagnetostriktive Ober-  
fläche (2, 8) die durch eine chemische Technik umge-  
wandelte Oberfläche der Welle (1) ist.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch g e k e n n -  
z e i c h n e t , daß die chemische Technik die Ionen-  
implantation oder den Ionenbeschuß einschließt.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1, 4, 5, 6, 7, 8  
oder 9, dadurch g e k e n n z e i c h n e t , daß  
die Oberfläche (2, 8) mit einer Vorspannung versehen  
oder andererseits unter einer Vorspannung befestigt  
ist.
- 5 11. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch g e k e n n -  
z e i c h n e t , daß zwei oder vier Sondeneinrich-  
tungen vorgesehen sind, die diametral gegenüberliegend  
oder in Quadratur angeordnet sind und daß Schaltkreise  
zum algebraischen Summieren der Sondenausgangssignale  
zur Schwingungskompensation, zur gesteigerten Empfind-  
lichkeit gegenüber den Wirkungen der Torsionsbean-  
spruchung und zur verringerten Empfindlichkeit gegen-  
über Inhomogenitäten in der magnetostriktiven Ober-  
10 fläche (2, 8) vorgesehen sind.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch g e k e n n -  
z e i c h n e t , daß die Schwingungskompensation  
Änderungen des Abstands zwischen einem Sondeneinrich-

5            tungspaar (3, 4; 9, 11) und einer Drehwelle (1) auf-  
hebt.

13. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch    g e k e n n -  
z e i c h n e t , daß auf der Welle (1) eine weitere  
magnetostriktive Oberfläche (8) sowie in Nähe der  
Oberfläche (8) eine Sondereinrichtung (6, 7) vorge-  
5        sehen ist, wobei die beiden Oberflächen (2, 8) mit  
einer Spannungsdifferenz versehen sind, die dem  
vorgeschriebenen, dynamischen Arbeitsbereich auf der  
Welle entspricht.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch    g e k e n n -  
z e i c h n e t , daß ein Schaltkreis zur algebraischen  
Differenzbildung der Ausgangssignale zweier benach-  
barter Sonden (3, 6; 4, 7) vorgesehen ist, um die  
5        Empfindlichkeit gegenüber Gleichtaktfehlern, wie z.B.  
die Temperatur sowie Beanspruchungen, die nicht auf  
Torsion zurückzuführen sind und die die Biegung,  
Dehnung und Stauchung der Welle (1) einschließen  
(Fluchtungsfehler), zu verringern.

15. Vorrichtung nach Anspruch 11 oder 14, dadurch    g e -  
k e n n z e i c h n e t , daß auf der Welle (1) zwei  
magnetostriktive Oberflächen (2, 8) sowie für jede  
zu überwachende Oberfläche mehrere Sondereinrichtungen  
5        (3, 4; 6, 7) vorgesehen sind, wobei jeweils die Anzahl  
der Sonden pro Oberfläche gleich ist, und daß ein  
elektrischer Schaltkreis vorgesehen ist, der die be-  
nachbarten Oberflächensignale einer Differenzbildung  
sowie die gleichen Oberflächensignale einer Addition  
10        unterwirft.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch    g e k e n n -

- 5        z e i c h n e t , daß ein Alarmmodul (30, 31, 32) zur Unterrichtung einer Bedienungsperson von übermäßigen Beanspruchungen, die nicht auf eine Torsion zurückzuführen sind, vorgesehen ist, wobei das Modul alle Sondenausgangssignale addiert und diesen Wert mit einem festgelegten Höchstwert vergleicht.
- 5        17. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch g e k e n n - z e i c h n e t , daß pro radialer Ebene zwei gegenüberliegende Sonden zum Messen der nicht auf Torsion zurückzuführenden Beanspruchung in einer axialen Ebene in bezug auf die Wellenachse vorgesehen sind.
- 5        18. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch g e k e n n - z e i c h n e t , daß die Geometrie der Spule (3a) kreisförmig, oval oder rechteckig ist, wodurch das erzeugte elektromagnetische Feld so ausgebildet wird, daß die Empfindlichkeit gegenüber einer Torsionsbeanspruchung gesteigert und die Empfindlichkeit gegenüber Beanspruchungen, die nicht auf eine Torsion zurückzuführen sind, verringert wird.
- 19. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch g e k e n n - z e i c h n e t , daß die Metallhülse aus amorphem Metall aus einer Folie (15, 16) besteht.
- 5        20. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch g e k e n n - z e i c h n e t , daß die magnetostriktive Oberfläche (2, 8) einen Spalt (5) aufweist und daß eine Einrichtung zur Abtastung des Spalts (5) vorgesehen ist, um die Wellendrehzahl anzuzeigen.
21. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch g e k e n n - z e i c h n e t , daß die Metallhülsen aus amorphem

Metall in Form von Streifen (15) ausgebildet sind,  
die mit einer Vorspannung in einem Winkel von  $45^\circ$   
5 bezüglich der Wellenachse befestigt sind, teilweise  
die Welle (1) umschließen und teilweise mit Hilfe  
ihrer Enden an der Welle (1) angeklebt sind.

22. Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch g e k e n n -  
z e i c h n e t , daß Streifen (16) bezüglich der  
ersten Streifen (15) in einem Winkel von  $90^\circ$  be-  
festigt sind und wobei die entgegengesetzte Vor-  
5 spannung entlang der Haupttorsionsspannungslinien  
in der Welle orientiert ist.

23. Vorrichtung zum Messen von Beanspruchungen, g e -  
k e n n z e i c h n e t durch  
- eine magnetostriktive Oberfläche (2, 8), deren  
Permeabilität sich als Funktion der Beanspruchung  
5 ändert,  
- eine Einrichtung (3; 4, 6, 7, 9, 10, 11, 12; 18)  
zur Ermittlung der Permeabilitätsänderung der  
magnetostriktiven Oberfläche (2, 8) über eine  
Spulenimpedanzänderung, wobei die Einrichtung  
10 Wirbelstromsondeneinrichtungen, deren Spule (3a)  
in vorbestimmtem Abstand in der Nähe der Oberfläche  
(2, 8) angeordnet ist, sowie einen Oszillator (18)  
mit einer Betriebsfrequenz von etwa 100 kHz oder  
mehr zur Ansteuerung der Spule (3a) und zur In-  
15 duzierung der Wirbelströme in der Oberfläche (2,  
8) aufweist, und  
- einen elektrischen Schaltkreis zum Messen der  
Impedanzänderung der Spule (3a) sowie zum Erzeugen  
eines ablesbaren Ausgangssignals, das eine Funktion  
20 der ausgeübten Beanspruchung ist.

VORRICHTUNG ZUM MESSEN DER AUF EINE WELLE  
AUSGEÜBTEN DREH- ODER BIEGEKRAFT

---

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Messen einer Dreh- oder Biegekraft, die von einem Wellenversatz her-  
5 rührt, der von einer entfernten Stelle auf die Welle einwirkt, und zwar durch Beobachtung der Permeabilitäts-  
änderung einer hochmagnetostriktiven Oberfläche. Die Erfindung betrifft insbesondere eine derartige Technik, bei der keine körperliche Verbindung zwischen der zu  
10 untersuchenden Fläche und dem Sensor erforderlich ist.

Seit vielen Jahren besteht der Bedarf an einem Verfahren zum Messen der Torsionsbelastung einer Drehwelle, das berührungslos, mit geringer Leistung und eigensicher arbeitet und keine wesentlichen Modifikationen der Welle,  
15 keine an die Welle zu befestigende Elektronik, keine sich abnützenden Teile (z.B. Schleifringe) und keine wesentliche Gewichtshinzufügung zur Welle erfordert. Mögliche Lösungswege hierzu sind in den US-PSn 3 340 729, 4 135 391 und 4 364 278 beschrieben. Bei diesem Stand  
20 der Technik basiert die Torsionsmessung auf der Anwendung der Transformatorwirkung, wobei die Welle, die Umhüllung oder Hülse, die unter Torsionsbelastung stehen, als Transformator-kern wirkt. Ordnet man dann die Primär- und Sekundärwicklung eines Transformators geeignet um die Welle  
25 an, kann die Permeabilitätsänderung einer magnetostriktiven Welle, Umhüllung oder Hülse erfaßt werden. Die in der Welle infolge der Torsionsbelastung hervorgerufene Permeabilitäts-  
änderung erzeugt ein asymmetrisches Magnetfeld, wodurch ein magnetischer Fluß in der Sekundärwicklung hervorgeru-  
30 fen wird, der in den Wicklungen einen elektrischen Strom induziert. Dieser elektrische Strom steht dann in Beziehung zur Torsionsbelastung der Welle. Der Stand der Technik



diskutiert und erläutert, wie das magnetostriktive Phänomen Anwendung findet.

Ein wesentlicher Nachteil der obigen Lösung besteht darin, daß eine beachtliche Leistung erforderlich ist, um an der

5 Sekundärwicklung ein meßbares Signal zu erhalten. Dieser Umstand macht es schwierig, die Meßvorrichtung sicher in einer gefährlichen Umgebung zu installieren. Außerdem werden durch das induzierte Feld, das mit der Welle in Wechselwirkung steht, Geschwindigkeitsbeschränkungen

10 auferlegt. Durch Verwendung einer Hülle oder Hülse, die aus einem hochmagnetostriktiven Material, wie z.B. einem amorphen Metall, besteht, kann zwar der Leistungsverbrauch reduziert werden; jedoch bleibt die Geschwindigkeitsbeschränkung zusammen mit den räumlichen Einschränkungen in

15 der Nähe der Welle bestehen.

Es ist somit Aufgabe der Erfindung, eine verbesserte Vorrichtung zum Messen der auf eine Welle ausgeübten Torsions- oder Biegekraft vorzuschlagen, die mit den vorstehenden Kriterien in Einklang steht.

20 Diese Aufgabe wird durch die im Patentanspruch 1 beschriebene Erfindung gelöst.

Vorteilhafte Weiterbildungen und Ausgestaltungen hiervon sind Gegenstand der Patentansprüche 2 bis 22. Diese Aufgabe wird ferner durch die im Patentanspruch 23 beschriebene Er-

25 findung gelöst.

Gemäß der Erfindung wird eine Vorrichtung zum Messen der auf eine sich drehende oder stationäre Welle ausgeübten Torsions- oder Biegekraft vorgeschlagen, wobei die Welle eine hochmagnetostriktive Oberfläche aufweist, deren

30 Permeabilität sich als eine Funktion der Belastung infolge der auf eine solche Welle ausgeübten Torsion oder deren

- Biegung, Dehnung oder Pressung ändert. Ferner ist eine Einrichtung zum Messen dieser Permeabilitätsänderung durch eine Spulenimpedanzänderung vorgesehen, die eine Sonden-
- 5 einrichtung einschließt, deren Spule im vorbestimmten Abstand dicht an der Oberfläche der Welle angeordnet ist. Letztlich wird mit Hilfe eines elektrischen Schaltkreises die Änderung der Spulenimpedanz gemessen und ein ablesbares Ausgangssignal gewonnen, das eine Funktion der ausgeübten Torsion oder der ausgeübten Biegekraft darstellt.
- 10 Die Erfindung wird im folgenden anhand der Zeichnung näher beschrieben. Es zeigt:
- Fig. 1 eine Welle sowie vier Sonden, die die Erfindung verkörpern, in perspektivischer Ansicht;
- 15 Fig. 2A ein alternatives Ausführungsbeispiel der Fig. 1 in perspektivischer Ansicht;
- Fig. 2B eine Querschnittsansicht der Fig. 2A;
- Fig. 3A ein weiteres alternatives Ausführungsbeispiel der Fig. 1 in perspektivischer Ansicht;
- 20 Fig. 3B eine Querschnittsansicht der Fig. 3A;
- Fig. 4A ein anderes alternatives Ausführungsbeispiel der Fig. 1 in perspektivischer Ansicht;
- Fig. 4B eine Querschnittsansicht der Fig. 4A;
- Fig. 4C ein weiteres alternatives Ausführungsbeispiel
- 25 der Fig. 1 in perspektivischer Ansicht;

- Fig. 4D eine Querschnittsansicht der Fig. 4C;
- Fig. 5 ein Schaltdiagramm, das die Verarbeitung  
der von den verschiedenen Sonden der Fig. 1  
bis 4D stammenden elektrischen Signale bei  
5 der Erfindung verdeutlicht;
- Fig. 6 ein Schaltdiagramm eines alternativen Aus-  
führungsbeispiels;
- Fig. 7 ein anderes Schaltdiagramm eines alternativen  
Ausführungsbeispiels;
- 10 Fig. 8 eine graphische Darstellung der Sondenaus-  
gangssignale der Erfindung;
- Fig. 9A eine graphische Darstellung von Ausgangssi-  
gnalen, bei denen die Wellenoberfläche vorge-  
spannt wurde und
- 15 Fig. 9B eine graphische Darstellung der Differenz der  
beiden Kurven der Fig. 9A.

Fig. 1 verdeutlicht eine Welle 1 mit angedeuteter Mittel-  
linie, für die die Wellentorsion und die Biegung gemessen  
werden soll. Auf der Welle 1 befindet sich ein zylindrischer  
20 Kragen 2 aus einem amorphen Metall, wie z.B. Metglas (Wa-  
renzeichen). Dieser Kragen 2 bildet auf der Welle 1 eine  
hochmagnetostriktive Oberfläche aus, deren Permeabilität  
sich als eine Funktion der Belastung infolge der auf die  
Welle 1 ausgeübten Torsion oder der Biegung, Dehnung oder  
25 Streckung der Welle ändert.

Um die Permeabilitätsänderung der magnetostriktiven Wellen-

- oberfläche messen zu können, sind vier Sonden 3, 9, 4 und 11 vorgesehen. Die zwei Sonden 9 und 11 sind, wie aus der Zeichnung ersichtlich, in einer horizontalen, die Mittellinie der Welle 1 schneidenden Ebene und die beiden Sonden 3 und 4 in einer vertikalen, orthogonalen Ebene angeordnet. Somit sind die Sonden gegenüberliegend angeordnet und befinden sich in Quadratur. Jede Sonde weist eine Spule (z.B. 3a) auf, die in vorbestimmtem Abstand dicht an der Hülse bzw. dem Kragen 2 angeordnet ist. Wie nachstehend erläutert, sind elektrische Schaltkreise in der Sonde selbst vorgesehen oder dieser zugeordnet, um die Änderung der Spulenimpedanz zu messen und ein ablesbares Ausgangssignal zu erzeugen, das eine Funktion der ausgeübten Torsion oder der ausgeübten Biegekraft ist.
- 15 Die Oberfläche bzw. der Kragen 2 weist auch einen axial verlaufenden Spalt 5 auf, der zum Messen der Umlaufgeschwindigkeit verwendet wird, da dieser Spalt 5 beim Vorbeigleiten an der Sonde eine Unstetigkeit erzeugt. Jedoch ist dieser Spalt 5 für die Messung der Torsion oder Biegung ohne Belang.
- 20 Die hochmagnetostriktive Oberfläche (Kragen 2) kann auf mehrere verschiedene Arten ausgeführt werden. Beim bevorzugten Ausführungsbeispiel wird eine aus amorphem Metall bestehende Hülse auf die Welle 1 aufgeklebt. Wie bereits oben erwähnt, wird ein typisches amorphes Metall unter dem Warenzeichen Metglas verkauft. Andere Befestigungsarten der Hülse können in einem Galvanisieren, einer Schweißung usw. bestehen.
- 25 Außerdem kann die Oberfläche der Welle mit Hilfe von chemischen Umwandlungstechniken behandelt werden, um eine magnetostriktive Oberfläche zu schaffen. Diese Tech-
- 30

niken können z.B. in einer Ionenimplantation oder in einem Ionenbeschuß bestehen. Letztlich kann die Welle mit einer Beschichtung bzw. mit einem Belag versehen werden, und zwar durch einen Anstrich, Flammsspritzen, Plasmaspritzen, Laserschmelzen oder Aufdampfen.

Die vier Sonden 3, 9, 4 und 11 sind alle in einem vorbestimmten Abstand 14 von der Welle angeordnet und stellen Wirbelstromsonden dar. Als Wirbelstromsonde, die für den vorliegenden Zweck geeignet ist, kann eine berührungslos arbeitende Sonde Verwendung finden, die von der Firma 'Bently Nevada Corporation of Minden', Nevada, hergestellt wird. Eine derartige Sonde stellt einen Wandler dar, der einen Abstand in eine Spannung umwandelt und bei normaler Anwendung, so wie er heute verkauft wird, den Abstand (nämlich einen Luftspalt) zu irgendeinem leitenden Material, wie z.B. einer Motorwelle, mißt. Somit findet diese Sonde zur Schwingungsmessung Anwendung. Der tatsächliche Wandler in der Sonde besteht aus einer Drahtspule. Diese Spule kann z.B. einen Durchmesser von 5 bis 25 mm aufweisen und wird von einem Oszillator angesteuert, der entweder einen Teil der Sonde oder eine separate Einheit darstellt. Auf diese Weise werden Wirbelströme induziert, und zwar in diesem speziellen Fall in der amorphen Metallhülse bzw. der magnetostriktiven Oberfläche. Solche Ströme werden selbstverständlich in Metallen induziert, wann immer diese in ein alternierendes magnetisches Feld gebracht werden. Diese Wirbelströme erzeugen ein Magnetfeld, das dem induzierenden Magnetfeld entgegengesetzt ist. Das resultierende Feld, das eine Spulenimpedanzänderung bewirkt, wird mit Hilfe der Spule der Wirbelstrom-Sonde gemessen.

Eine derartige Änderung der Spulenimpedanz zeigt die

Größe und die Phasenbeziehungen der Wirbelströme und ihre induzierenden Magnetfeldströme an. Diese Beziehung ist von vielen Faktoren einschließlich der elektrischen Leitfähigkeit der Welle, der magnetischen Permeabilität und Inhomogenität sowie der Oszillatorfrequenz und natürlich des Luftspalts abhängig. Bei der Erfindung kann, wie nachstehend erläutert, durch Isolierung der Ansprechempfindlichkeit in bezug auf die Permeabilität die auf eine sich drehende oder stationäre Welle ausgeübte Drehkraft bzw. Torsion gemessen werden. Eine einzige Sonde, z.B. die Sonde 3, kann allein zum Messen einer derartigen Torsion verwendet werden. Werden jedoch zwei Sonden, z.B. die Sonden 3 und 4, verwendet, so verdoppelt sich das Ausgangssignal, während Spaltänderungen und die Schwingung ausgemittelt werden. Vier Sonden 3, 4, 9 und 11 haben den weiteren Vorteil, daß die Ausgangsspannung nochmals verdoppelt wird, während das Sondenansprechverhalten gegenüber der Torsion über vier Punkte auf der Welle gemittelt wie auch eine Kompensation der Spaltänderungen und der Schwingung vorgenommen wird.

Demzufolge stellt Fig. 1 einen grundlegenden Baustein dar, von dem andere Ausführungsbeispiele der Erfindung zusammen mit Änderungen hinsichtlich der Oberflächenpräparation und der Anzeigeelektronik abgeleitet werden. Verwendet ein weiterer Systemaufbau diese Basiseinheit als einen Baustein, in dem diametral entgegengesetzte Sonden verwendet werden, so können Schwingungsfehler ausgeschlossen werden. Außerdem kann durch Verwendung einer torsionsmäßig vorgespannten Oberfläche die Empfindlichkeit gegenüber niedrigen Torsionsbelastungen vergrößert werden. Werden zwei vorgespannte Oberflächen, d.h. zwei oder mehr getrennt angeordnete Hülsen oder Oberflächen, wie z.B. in Fig. 2A dargestellt, und vier

oder mehr Sonden verwendet, so kann die Empfindlichkeit gegenüber nicht auf Torsion zurückzuführende Belastungen, d.h. die Empfindlichkeit gegenüber einer Biegung, Dehnung und Pressung verringert werden. Ferner kann durch unterschiedliche Kombination der Sondenausgangssignale die Empfindlichkeit gegenüber Belastungen der Welle, die nicht auf Torsion zurückzuführen sind, gesteigert werden, d.h. es kann z.B. die Biegung der Welle gemessen werden, während die Torsionsempfindlichkeit herabgesetzt ist.

Im allgemeinen ergibt sich die Verwendung einer Wirbelstromsonde durch den Gebrauch einer einzigen Spule, die mit einer Hochfrequenz von mehr als 100 kHz angesteuert wird und somit als Anregungsquelle für die Induzierung von Wirbelströmen in der magnetostriktiven Oberfläche wirkt. Diese gleiche Spule erfaßt auch das von den induzierten Wirbelströmen hervorgerufene Magnetfeld und somit ihre Impedanzänderungen. Eine derartige Impedanzänderung wird gemessen und sorgt für relevante Daten, die die Torsion, die Biegung und andere Deformationen der Welle 1 betreffen. Eine Spule 3a ist schematisch in der Sonde 3 der Fig. 1 dargestellt. Wie gezeigt und wie bei der im Handel befindlichen Sonde ist die Spule kreisförmig ausgebildet. Jedoch kann diese auch oval oder rechteckig sein. Eine derartige Ausbildung ändert auch die Form des elektromagnetischen Feldes, um die Torsionsbelastungsempfindlichkeit zu erhöhen und die Empfindlichkeit gegenüber Belastungen, die nicht auf Torsion zurückzuführen sind, zu verringern.

Schließlich können zusätzliche Sonden vorgesehen werden, die jeweils zueinander einen Winkel von  $90^\circ$  einschließen, um den Rauschabstand zu verbessern und die Wirkungen

einer mechanischen oder elektrischen Ausartung zu verringern.

Die Fig. 2 bis 4 stellen verschiedene Modifikationen des in Fig. 1 gezeigten Bausteins dar. In den Fig. 2A und 2B ist eine zusätzliche magnetostriktive Oberfläche 8 als Hülse auf der Welle 1 ausgebildet. Diese zusätzliche Oberfläche 8 ist neben der ursprünglichen Oberfläche axial versetzt angeordnet. In der Oberfläche 8 und der Oberfläche bzw. dem Kragen 2 ist jeweils ein Spalt 5 vorgesehen, der lediglich zur Messung der Drehzahl der Welle verwendet wird. Zwei Sondenpaare, bestehend aus den Sonden 3 und 4 bzw. 6 und 7, sind diametral gegenüberliegend angeordnet, wobei in jedem Sondenpaar die Wellenschwingung und die Spaltänderungen kompensiert werden. Dies wird erreicht, indem die Sondenausgangssignale algebraisch summiert werden. Wird andererseits von den Ausgangssignalen der in der gleichen radialen, durch die Mittellinie der Welle verlaufenden Ebene vorgesehenen Sondenpaaren, und zwar der benachbarten Sonden, z.B. der Sonden 4 und 7 oder 3 und 6, die Differenz gebildet, so erzeugt diese Maßnahme ein Signal, das proportional der ausgeübten Torsion ist, und beseitigt Gleichtaktfehler, wie z.B. Temperatureffekte und Belastungen, die nicht auf Torsionskräfte zurückzuführen sind und eine Biegung, eine Dehnung sowie eine Pressung der Welle hervorrufen. Diese Belastungen sind in Fig. 1 durch Pfeile angedeutet, und zwar gekennzeichnet mit T (Dehnung) und C (Pressung).

Um ein lineares Signal zu erzielen, können die beiden magnetostriktiven Oberflächen 2 und 8 einer unterschiedlichen Belastung unterliegen; so kann z.B. die Oberfläche 2 in einer negativen Torsionsbeanspruchungsrichtung beansprucht werden, während die Oberfläche 8 in einer posi-



tiven Torsionsbeanspruchungsrichtung vorgespannt wird. Eine derartige Vorspannung wird erreicht, indem man anfangs die Welle um einen bestimmten Betrag positiv oder negativ verdreht, dann die magnetostriktive Oberfläche aufbringt, und zwar entweder durch Aufkleben oder durch  
5 eine Beschichtung usw, wie vorstehend erläutert, und dann die ausgeübte Torsion bzw. Verdrehung der Welle beseitigt.

Die Ergebnisse mit und ohne Vorspannung sind in den Fig. 8, 9A und 9B verdeutlicht. Fig. 8 zeigt anhand einer Kurve 35  
10 die Ausgangssignale einer Sonde, deren Oberfläche unter keiner Belastung steht. Diese Kurve 35 weist eine an dem Null-Torsionspunkt zentrierte Spitze mit minimaler Ausgangsgröße auf, die mit einer ausgeübten Torsion von Null zusammenfällt. Der Nachteil dieses Kurvenverlaufs besteht  
15 darin, daß ein unempfindlicher oder wirkungsloser Bereich um den Torsionswert Null herum vorliegt. Der in bezug auf die Torsion unempfindliche Bereich kann, wie dargestellt, unterhalb des Arbeitsbereiches verschoben werden, indem man auf die Oberfläche eine geringe negative Torsionsvor-  
20 spannung ausübt, was in der Ausgangskennlinie 36 resultiert. Es ist somit ersichtlich, daß die Beziehung von Torsion zu Spannung wenigstens vom Torsionswert Null bis zur Mitte des positiven Torsionsbereichs fast eine lineare Funktion darstellt.

25 Die Kurven der Fig. 9A verdeutlichen die Ausgangssignale der Sonden der Fig. 2A, wobei sowohl eine positive wie auch negative Vorspannungskurve vorgesehen wird. In diesem Fall befinden sich beide Kurvenspitzen außerhalb des gekennzeichneten "Arbeitsbereichs". Die Fig. 9B zeigt dann  
30 die Differenz zwischen den beiden Kurven. Die daraus resultierende Kurve ist offensichtlich über den Arbeitsbereich linear. Somit ist ersichtlich, wie eine Vorspannungs-

differenz zwischen beiden benachbarten magnetostriktiven Oberflächen ein Ausgangssignal ermöglicht, das sich als lineare Funktion mit der ausgeübten Torsion über einen vorbestimmten Arbeitsbereich ändert. Der Arbeitsbereich  
 5 kann auch oberhalb des Torsionswerts Null liegen, wobei in diesem Fall die beiden Oberflächen eine unterschiedliche, jedoch positive Vorspannung aufweisen sollten. Ist die Vorspannungsdifferenz nicht optimal, und stellt die Ausgangsgröße keine lineare Funktion der Torsionsbe-  
 10 lastung dar, so ist ein elektronischer Linearisierer erforderlich, wie nachstehend erläutert wird.

Fig. 2B zeigt eine Querschnittsansicht der Fig. 2A, wobei die Oberfläche 2 mit Hilfe einer dünnen, gleichmäßigen Klebeschicht 13 an der Welle 1 befestigt ist (die Verkle-  
 15 bung wird z.B. mit Epoxyleber ausgeführt). Ferner ist der Spalt 5 zum Messen der Drehzahl (U/min) sowie der Luftspalt 14, der zwischen dem Ende der jeweiligen Sonde und der magnetostriktiven Oberfläche 2 ausgebildet ist, dargestellt. In Fig. 3A ist ein komplexes System darge-  
 20 stellt, das acht Sonden verwendet. Dieser Aufbau ist durch eine Redundanz gekennzeichnet, um die Zuverlässigkeit zu erhöhen. Dieser Aufbau ermöglicht gleichfalls die Bestimmung eines Biegemoments in zwei Ebenen, wie dies in Verbindung mit den zugehörigen Schaltkreisen gezeigt wird.  
 25 Die Querschnittsansicht gemäß Fig. 3B verdeutlicht die orthogonale Beziehung der Sonden bezüglich der Mittellinie der Welle.

Die Fig. 4A und 4B zeigen eine alternative Befestigungsmethode für die magnetostriktiven Oberflächen, die in  
 30 Form von Folienstreifen 15 und 16, z. B. aus amorphem Metall, dargestellt sind. Diese Folienstreifen 15, 16 sind in einem Winkel von 45° zur Wellenachse längs der

- Hauptdehnungs- und Hauptkompressionslinien der eine Torsion erfahrenden Welle befestigt. Die Welle wird vorgespannt und die Folienstreifen 15 mit ihren Enden verklebt, wobei der unter den Sonden liegende Mittelteil unbefestigt bleibt und außerdem infolge der Vorspannung sträff gezogen wird. Die Folienstreifen 16 sind in ähnlicher Weise befestigt, jedoch mit der Ausnahme, daß die Vorspannung in die entgegengesetzte Richtung verläuft, wodurch somit diese Streifen ebenso dicht an der Welle gehalten werden.
- 10 In Fig. 4C und 4D ist ein anderer Spulenaufbau dargestellt, wobei die Meßspule 17 die magnetostriktive Oberfläche 2 umgibt.
- Fig. 5 zeigt ein Blockdiagramm eines Anzeigegeräts. Dieses Anzeigegerät gibt die Drehzahl (U/min), die Leistung (J/sec), die mittlere Torsion, die Torsionsschwingung (oder die Torsionsschwingungsamplitude) sowie die dynamische Torsion wieder. Das gezeigte Anzeigegerät kann in Verbindung mit einer, zwei oder vier Sonden Verwendung finden, wobei der letztere Fall dargestellt ist. Dies sind im einzelnen die Sonden 3, 9, 4 und 11, wie z.B. in Fig. 1 verdeutlicht. Jede Sonde steht dabei mit einer Oszillator-Demodulator-Einheit 18 in Verbindung, die, wie vorstehend erläutert, beispielsweise an die Spule 3a der Sonde 3 ein Hochfrequenzsignal von mehr als 100 kHz anlegt und mit Hilfe des Demodulators die an der Sonde anliegende Spannung und somit die Sondenimpedanz mißt, sobald sich diese mit der überwachten Oberflächenpermeabilität ändert. Alle Ausgangssignale der Oszillator-Demodulator-Einheiten 18 werden mit Hilfe eines Summierverstärkers 19 addiert.
- 30 Eine durch den in der magnetostriktiven Oberfläche 2 vorgesehenen Luftspalt 5 erzeugter Spannungsimpuls durchläuft ein Hochpaßfilter 20 und wird in ein Drehzahlsignal (U/min) umgewandelt, das von der Einheit 25 angezeigt wird.

- Die Tiefpaß-Komponenten der summierten Sondensignale werden mit Hilfe der Tiefpaßfilter 21 und 22 ausgefiltert. Dadurch wird fast eine Gleichstromkomponente erzeugt, die in der Einheit 23 linearisiert sowie skaliert und mit
- 5 Hilfe der Anzeigeeinheit 27 für die mittlere bzw. durchschnittliche Torsion wiedergegeben wird. Eine Multipliziereinheit 24 ermöglicht durch Multiplikation der Torsion und der Drehzahl ein Anzeige der Leistung durch die Einheit 26.
- 10 Das Ausgangssignal des Tiefpaßfilters 22 liefert, wie dargestellt, ein dynamisches Torsionssignal. Mit Hilfe eines Spitzenwertgleichrichters 41 kann an der Einheit 28 eine Torsionsschwingungsamplitude angezeigt werden.
- Die in Verbindung mit den Kurven der Fig. 8 und 9B erörterte Linearisierungseinrichtung 23 kann abhängig von
- 15 dem gewünschten Arbeitsbereich und der Anwendung unterschiedlicher Vorspannungen erforderlich sein oder nicht.
- Die schematische Schaltung gemäß Fig. 6 verdeutlicht ein alternatives Ausführungsbeispiel einer Torsion-Anzeigeeinheit, wobei die Sondenpaare 3 und 4 bzw. 6 und 7
- 20 Änderungen in zwei getrennten, jedoch benachbarten magnetostriktiven Oberflächen ermitteln, wie in Fig. 2A gezeigt. Die Demodulatorsignalausgänge der benachbarten Sonden 3 und 6 bzw. 4 und 7 werden mittels der Einheiten
- 25 29 einer Differenzbildung unterzogen und anschließend mit Hilfe des Summierverstärkers 19 addiert. Durch die Differenzbildung der Signale der benachbarten Oberflächen wird die Ansprechempfindlichkeit gegenüber Gleichtaktfehlern verringert, wie z.B. gegenüber der Temperatur
- 30 sowie Belastungen, die nicht von der Torsion herrühren und die Biegung, die Dehnung und die Pressung der Welle

einschließen. Die algebraische Summierung oder Addition der Sondenausgangssignale, die der gleichen Oberfläche zugehören, ermöglichen eine abgeschwächte Empfindlichkeit gegenüber Inhomogenitäten in der magnetostriktiven Oberfläche und gegenüber Schwingungen und somit gegenüber dem Abstand zwischen einem einer bestimmten magnetostriktiven Oberfläche gegenüberliegenden Sondenpaar und seiner sich drehenden Welle...

In Fig. 6 summiert die Summiereinheit 30 die Ausgangssignale aller Oszillator-Demodulator-Einheiten 18. Das Ausgangssignal der Einheit 30 wird mit Hilfe der Elektronik 31 für die Biegebeanspruchung verarbeitet und skaliert und steuert dann eine Alarmeinrichtung 32 an. Diese Alarmeinrichtung 32 weist einen Einstellwert auf, ab dem ein Alarm angezeigt wird. Dies ermöglicht die Anzeige einer Überbelastung infolge von Belastungen, die sich nicht auf die Torsion beziehen, wie z.B. Biegung, Dehnung und/oder Pressung. Betrachtet man wieder die Fig. 2A und 2B, so stellt die X-Ebene die gemeinsame Ebene dar, in der die Sonden liegen und die sich durch die Mittellinie oder Achse der Welle erstreckt. Das Vorstehende ist gleichfalls in Fig. 7 gezeigt, jedoch sind zusätzlich vier aufeinander senkrecht stehende Sonden 9, 10, 11 und 12 (vgl. Fig. 3A) vorgesehen, wobei die Summe der Sonden-signale über die Biegebeanspruchungseinheit 31 eine Alarmeinrichtung 32 ansteuert, die - wie dargestellt - für die Biegebeanspruchung in der Y-Ebene vorgesehen ist; d.h. die Ebene, in der diese Sonden liegen, wie am besten aus Fig. 3B ersichtlich.

Der übrige Schaltungsteil der Fig. 7 verdeutlicht in bezug auf Fig. 6 ein duales Anzeige- bzw. Überwachungsgerät, wobei zusätzlich Abstimmungsschaltkreise 33 und 34

- vorgesehen sind, die die unabhängigen Torsionsausgangsgrößen vergleichen, die von jedem aus vier Sonden bestehenden Sondensatz, d.h. von den Sonden 3, 6, 4 und 7 bzw. 9, 10, 11 und 12 erzeugt werden. Stimmen die unabhängigen Ausgangsgrößen, die miteinander verglichen werden sollen, innerhalb festgelegter Grenzen nicht überein, so erfolgt von den Abstimm Schaltkreisen eine "außerhalb der Toleranz"-Anzeige. In anderer Hinsicht werden die gleichen Parameter gemessen.
- 10 Wie oben erläutert, ermöglicht der Einsatz von entgegengesetzten, einen Arbeitsbereich definierenden Vorspannungen eine lineare Ausgangsgröße. Jedoch kann eine alternative Technik vorgesehen werden, die neben den ersten beiden Oberflächen auf der Welle von einer dritten
- 15 magnetostriktiven Oberfläche Gebrauch macht, wobei die dritte Oberfläche nicht vorgespannt ist. Und dann könnte eine Überwachungs- bzw. Anzeigeeinrichtung einen linearen, ausgedehnten Arbeitsbereich vorsehen, ohne daß Mehrdeutigkeiten um die Vorspannungspunkte herum bestehen.
- 20 Die Erfindung weist somit die folgenden Vorteile auf:
1. Sie ist einfach im Vergleich zu den bekannten Transformator-techniken.
  2. Sie arbeitet berührungslos.
  3. Sie weist eine hohe Eigenempfindlichkeit bei hoher
  - 25 Rauschfreiheit und niedrigem Leistungsbedarf auf.
  4. Sie hat eine hohe Eigenlinearität, falls eine geeignete Vorspannung verwendet wird.
  5. Sie weist eine hohe Zuverlässigkeit auf, da keine sich abnutzenden Teile oder "fliegende" Elektronik
  - 30 vorhanden sind.
  6. Sie ist am Einsatzort der Welle montierbar und nachrüstbar.

7. Sie hat einen geringen Einfluß auf das Gewicht sowie das Gleichgewicht der Welle.
8. Sie nimmt keinen Einfluß auf die strukturelle Integrität der Welle.
- 5 9. Sie kann in einer gefährlichen Umgebung eigensicher ausgeführt werden.
10. Sie ist unempfindlich gegenüber Spaltänderungen infolge einer Schwingung, eines Fluchtungsfehlers und der Temperatur und weist eine verringerte Empfindlichkeit gegenüber einer Biegung, Dehnung und/oder Pressung (Wellenversatz) auf.
- 10 11. Sie kann die mittlere Torsion, die dynamische Torsion, die Wellendrehzahl, die Leistung sowie einen Alarm bei Beanspruchungen, die nicht auf Torsion zurückzuführen sind, ermitteln.
- 15 12. Sie erfordert geringe Kosten.
13. Sie wird nicht von Schmutz, Öl oder Ruß beeinflusst.

Außer den obigen Vorteilen ergibt sich beim Vergleich mit der bekannten Transformatortechnik ein bedeutender  
20 Vorteil der Erfindung insoweit, als die Erfindung eine hohe Eigenempfindlichkeit aufweist, die teilweise aus der Verwendung mehrerer Sonden und aus der hohen Rauschfreiheit resultiert, was wiederum eine Folge der Möglichkeit der algebraischen Summierung und Differenzbildung  
25 von verschiedenen Sondensignalen ist. Dies hat auch einen Einfluß auf die reduzierte Empfindlichkeit gegenüber einer Biegung, Dehnung usw. Letztlich besteht der andere wesentliche Unterschied zwischen den bekannten Transformatortechniken und der Erfindung in dem einfachen  
30 Aufbau, wodurch die Erfindung am Einsatz<sup>ort</sup> der Welle montierbar und nachrüstbar ist. Außerdem wird wenig Platz benötigt, da die Sonden kleine zylindrische Einheiten darstellen, die auf einfache Weise in der Nähe der Drehwelle befestigt werden können.

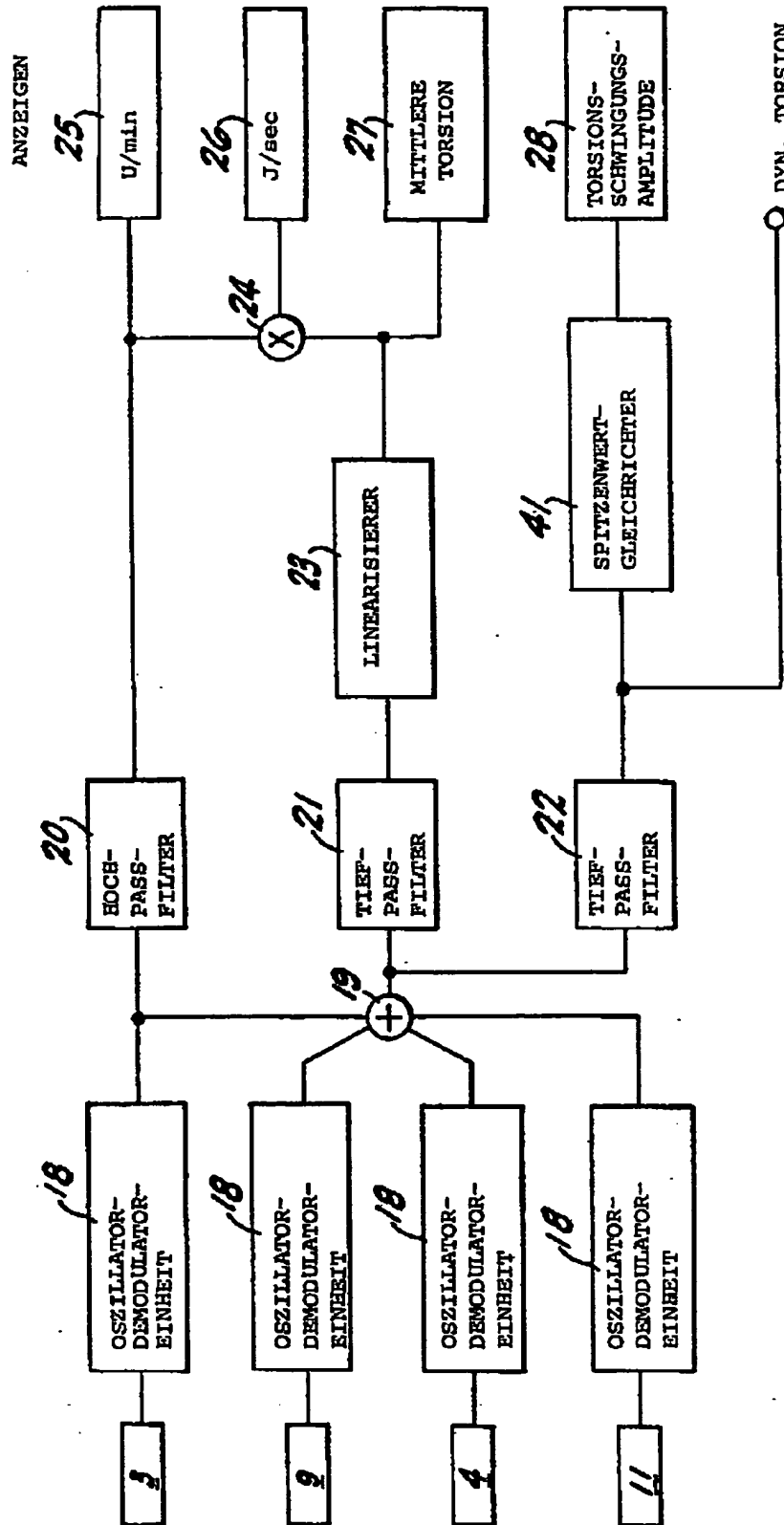


Fig-5



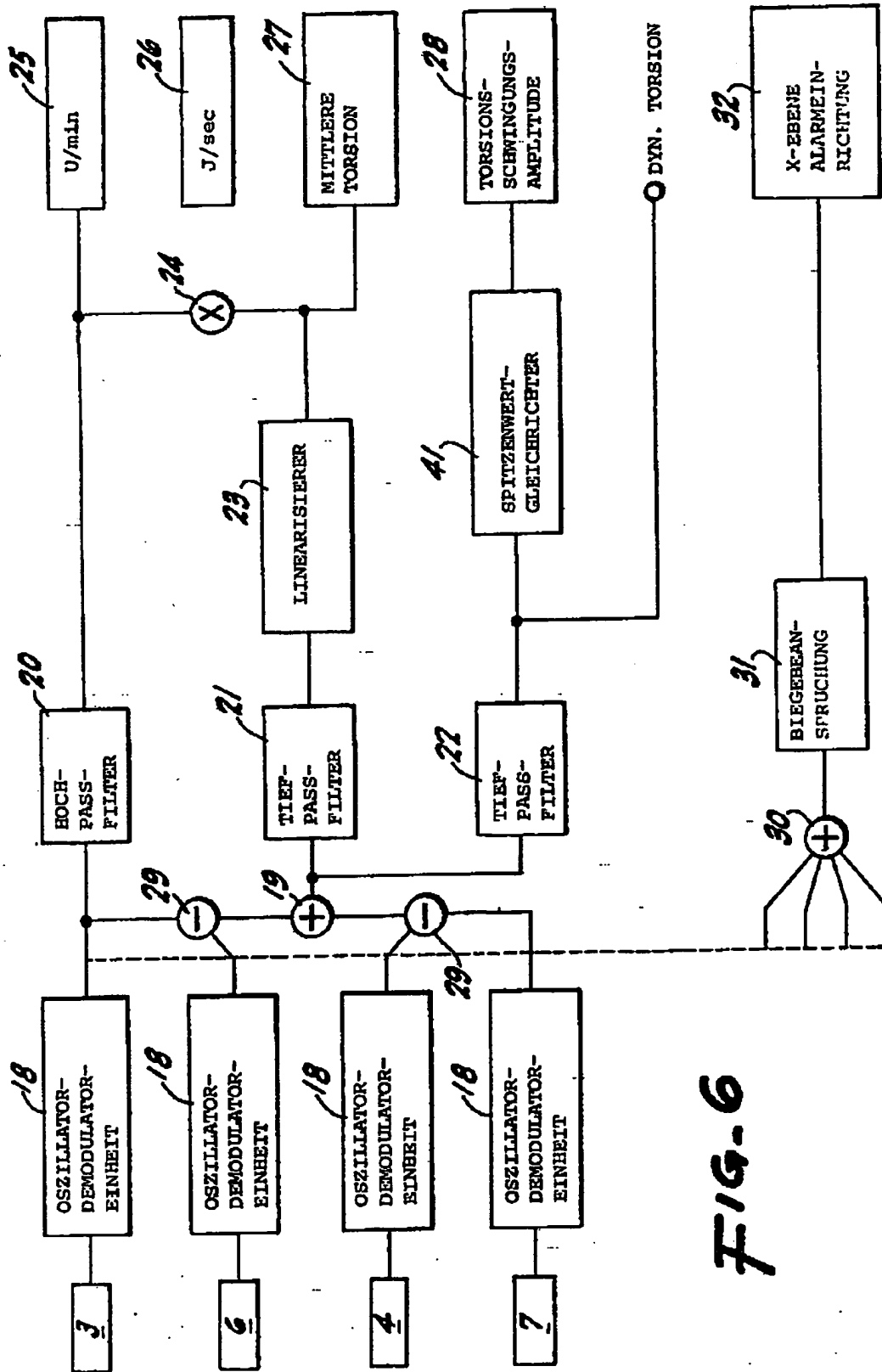
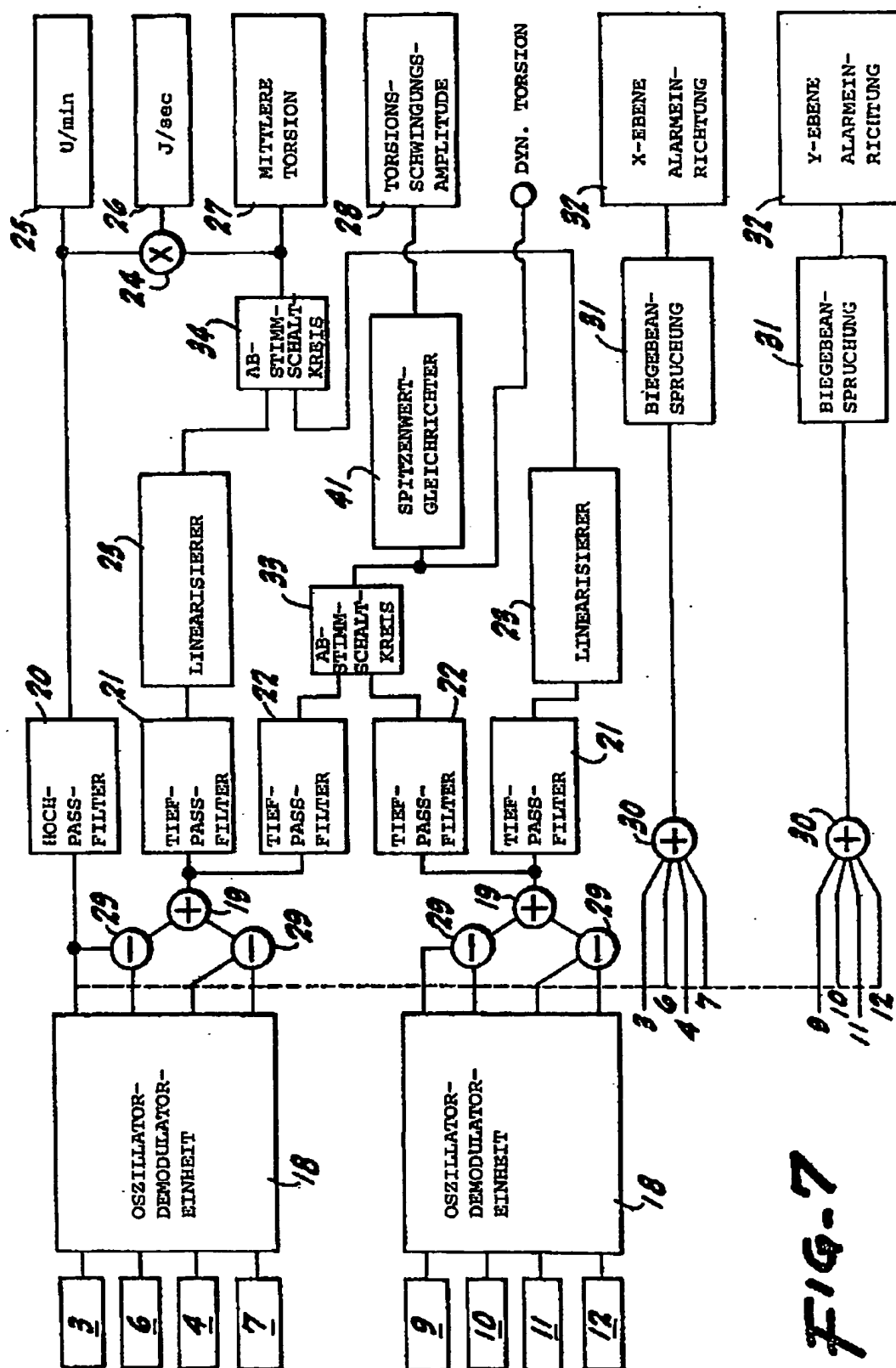
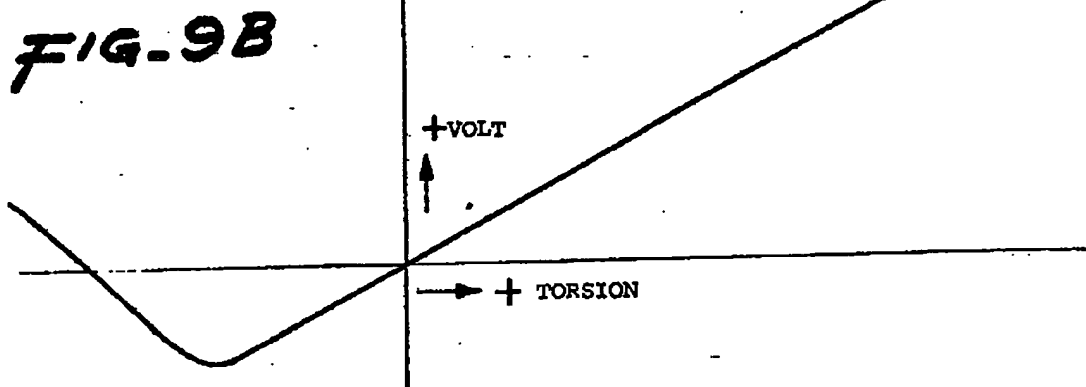
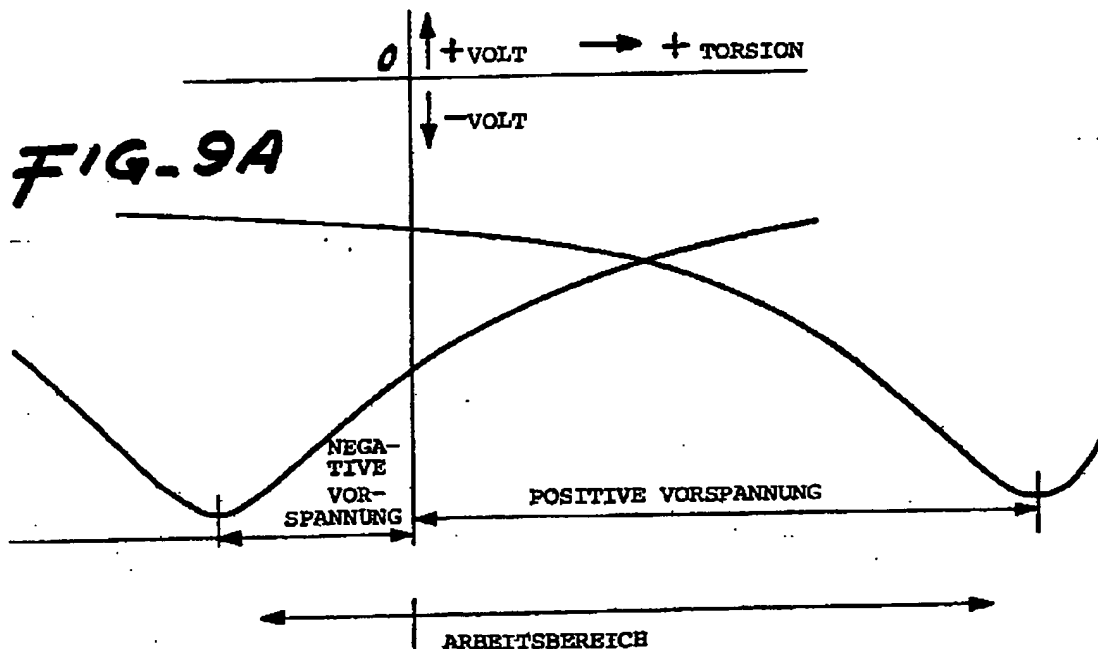
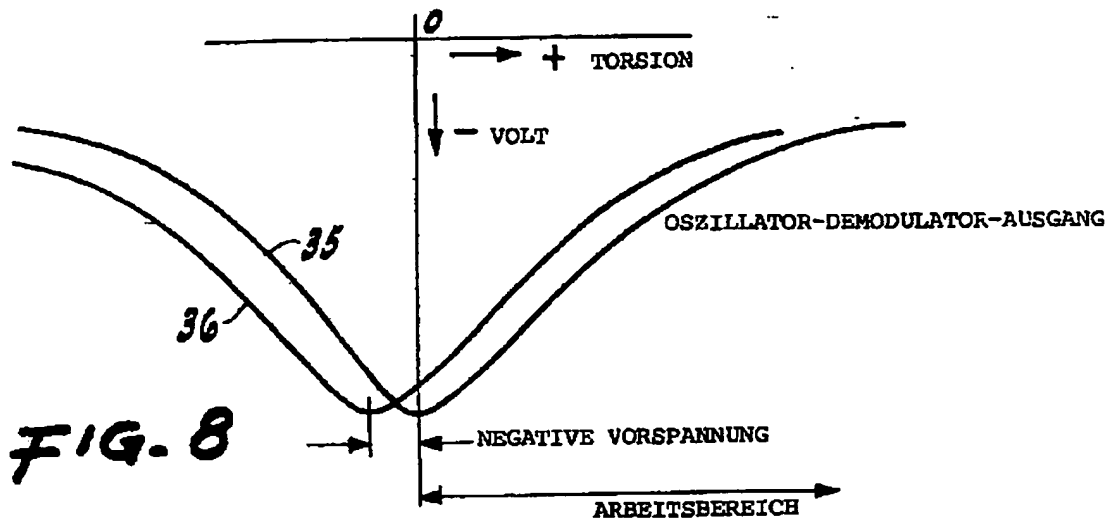


FIG-6

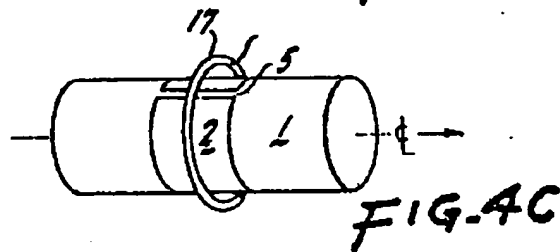
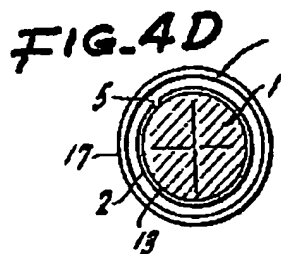
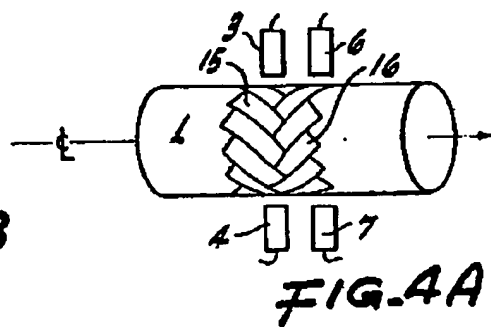
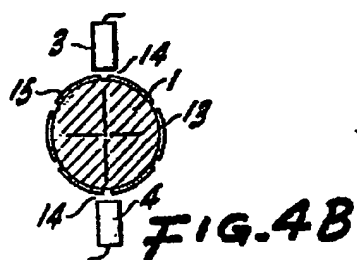
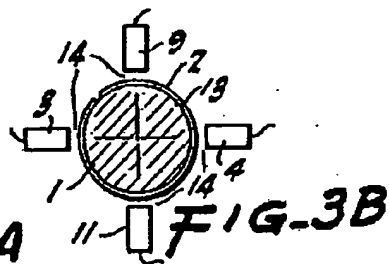
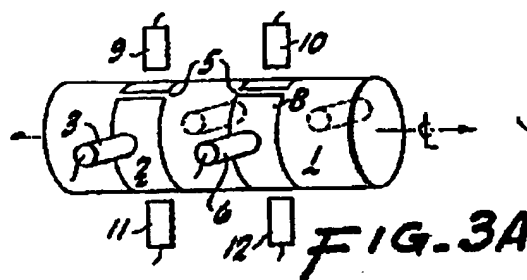
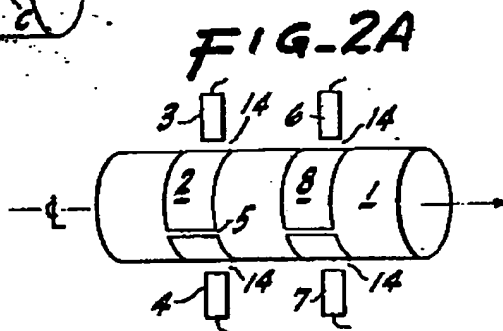
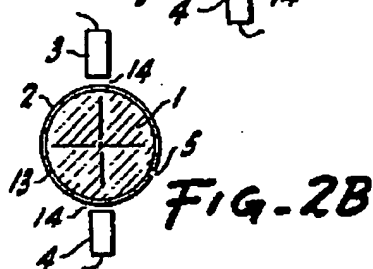
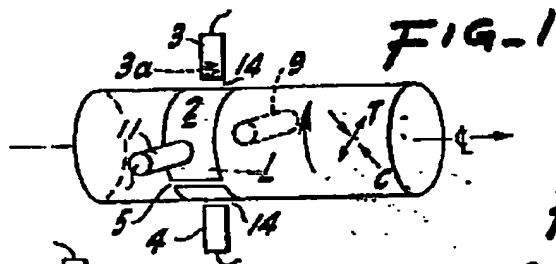
7-6-4





1' 34 37 379.9-52  
DEAB-32227.9

3437379



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**